



Prefacio

No había esperado que mi libro de divulgación, *Historia del tiempo*, tuviera tanto éxito. Se mantuvo durante cuatro años en la lista de superventas del London Sunday Times, un período más largo que cualquier otro libro, lo cual resulta especialmente notable para una obra científica que no era fácil. Desde entonces, la gente me estuvo preguntando cuándo escribiría una continuación. Me resistía a ello porque no quería escribir un Hijo de la historia del tiempo, o una Historia del tiempo ampliada, y porque estaba ocupado con la investigación. Pero fui advirtiendo que quedaba espacio para un tipo diferente de libro que podría resultar más fácilmente comprensible. La Historia del tiempo estaba organizada de manera lineal, de forma que la mayoría de los capítulos continuaba y dependía lógicamente de los anteriores. Esto resultaba atractivo para algunos lectores, pero otros quedaron encallados en los primeros capítulos y nunca llegaron al material posterior, mucho más excitante. En cambio, el presente libro se parece a un árbol: los capítulos 1 y 2 forman un tronco central del cual se ramifican los demás capítulos.

Las ramas son bastante independientes entre sí y pueden ser abordadas en cualquier orden tras haber leído el tronco central. Corresponden a áreas en que he trabajado o reflexionado desde la publicación de la Historia del tiempo. Por ello, presentan una imagen de algunos de los campos más activos de la investigación actual. También he intentado evitar una estructura demasiado lineal en el contenido de cada capítulo. Las ilustraciones y los textos al pie de ellas proporcionan una ruta alternativa al texto, tal como en la Historia del tiempo ilustrada, publicada en 1996, y los recuadros al margen proporcionan la oportunidad de profundizar en algunos temas con mayor detalle del que habría sido posible en el texto principal.

En 1988, cuando fue publicada por primera vez la Historia del tiempo, la Teoría definitiva de Todo parecía estar en el horizonte. ¿Cómo ha cambiado la situación? ¿Nos hallamos más cerca de nuestro objetivo? Como veremos en este libro, hemos avanzado mucho desde entonces, pero aún queda mucho camino por recorrer y aún no podemos avistar su fin. Según un viejo refrán, es mejor viajar con esperanza que llegar. El afán por descubrir alimenta la creatividad en todos los campos, no sólo en la ciencia. Si llegáramos a la meta, el espíritu humano se marchitaría y

moriría. Pero no creo que nunca nos lleguemos a detener: creceremos en complejidad, si no en profundidad, y siempre nos hallaremos en el centro de un horizonte de posibilidades en expansión.

Quiero compartir mi excitación por los descubrimientos que se están realizando y por la imagen de la realidad que va emergiendo de ellos. Me he concentrado en áreas en que yo mismo he trabajado, para poder transmitir una mayor sensación de inmediatez. Los detalles del trabajo han sido muy técnicos, pero creo que las ideas generales pueden ser comunicadas sin excesivo bagaje matemático. Espero haberlo conseguido.

He contado con muchas ayudas al escribir este libro. Debo mencionar, en particular, a Thomas Hertog y Neel Shearer, por su auxilio en las figuras, pies de figura y recuadros, a Ann Harris y Kitty Ferguson, que editaron el manuscrito (o, con más precisión, los archivos de ordenador, ya que todo lo que escribo es electrónico), y a Philip Dunn del Book Laboratory and Moonrunner Design, que elaboró las ilustraciones. Pero, sobre todo, quiero manifestar mi agradecimiento a todos los que me han hecho posible llevar una vida bastante normal y realizar una investigación científica. Sin ellos, este libro no habría podido ser escrito.

Stephen Hawking

Cambridge, 2 de mayo de 2001

Capítulo 3

El universo en una cáscara de nuez

El universo tiene múltiples historias, cada una de ellas determinada por una diminuta nuez. Podría estar encerrado en una cáscara de nuez y sentirme rey de un espacio infinito...

Shakespeare, Hamlet, segundo acto, escena 2

Quizás Hamlet quería decir que a pesar de que los humanos estemos físicamente muy limitados, nuestras mentes pueden explorar audazmente todo el universo y llegar donde los protagonistas de Star Trek temerían ir, si las pesadillas nos lo permiten.

¿Es el universo realmente infinito o sólo es muy grande? Y, ¿es perdurable o sólo tendrá una vida muy larga? ¿Cómo podrían nuestras mentes finitas comprender un universo infinito? ¿No resulta presuntuoso hacernos siquiera este propósito? ¿Nos arriesgamos a sufrir el destino de Prometeo, que según la mitología clásica robó el fuego de Zeus para que lo utilizaran los humanos y fue castigado por esta temeridad a ser encadenado a una roca donde un águila venía a devorarle el hígado?

A pesar de todas estas precauciones, creo que podemos y debemos intentar comprender el universo. Ya hemos hecho notables progresos en la comprensión del cosmos, particularmente en los últimos pocos años. Aunque no tenemos una imagen completa, podría ser que ésta no estuviera lejana.

Resulta obvio que el espacio se prolonga indefinidamente. Ello ha sido confirmado por instrumentos modernos, como el telescopio Hubble, que nos permite sondear las profundidades del espacio. Lo que vemos son miles de millones de galaxias de diversas formas y tamaños. Cada galaxia contiene incontables millones de estrellas, muchas de las cuales están rodeadas por planetas. Vivimos en un planeta que gira alrededor de una estrella en un brazo exterior de la galaxia espiral de la Vía Láctea. El polvo de los brazos espirales nos impide ver el universo en el plano de la galaxia, pero a cada lado de éste tenemos haces cónicos de líneas de buena visibilidad y podemos representar las posiciones de las galaxias. Hallamos que éstas están distribuidas en el espacio de manera aproximadamente uniforme, con algunas

concentraciones y vacíos locales. La densidad de galaxias parece decrecer a distancias muy grandes, pero creemos que ello se debe a que son tan lejanas y tenues que no las podemos observar. Por lo que sabemos, el universo se prolonga sin fin en el espacio.

Aunque el universo parece tener el mismo aspecto por doquier, cambia decididamente con el tiempo. Ello no fue advertido hasta los primeros años del siglo XX. Hasta entonces, se creía que el universo era esencialmente constante en el tiempo. Podría haber existido durante un tiempo infinito, pero ello parecía conducir a conclusiones absurdas. Si las estrellas hubieran estado radiando durante un tiempo infinito, habrían calentado todo el universo hasta su temperatura. Incluso de noche, todo el universo sería tan brillante como el Sol, porque cada línea de visión terminaría en una estrella o en una nube de polvo que habría sido calentada hasta la temperatura de las estrellas.

La observación, tan familiar, de que el cielo nocturno es oscuro, es muy importante. Implica que el universo no puede haber existido siempre en el estado que lo vemos hoy. Algo debió ocurrir, hace un tiempo finito, que encendiera las estrellas, lo cual significa que la luz de las estrellas muy distantes todavía no ha tenido tiempo de llegarnos. Ello explicaría por qué el cielo no brilla en la noche en todas direcciones.

Si las estrellas hubieran estado siempre ahí, ¿por qué se encendieron de repente hace unos pocos miles de millones de años? ¿Qué reloj les dijo que se tenían que poner a brillar? Como hemos dicho, esto intrigó a muchos filósofos, como Immanuel Kant, que creían que el universo había existido siempre. Pero para la mayoría de la gente, ello resultaba consistente con la idea de que el universo había sido creado, más o menos en su estado actual, hace tan sólo unos pocos miles de años.

Sin embargo, las observaciones de Vesto Slipher y Edwin Hubble en la segunda década del siglo XX empezaron a desvelar discrepancias respecto de esta idea. En 1923, Hubble descubrió que muchas tenues manchas luminosas, llamadas nebulosas, eran en realidad galaxias, grandes conjuntos de estrellas como el Sol pero a gran distancia de nosotros. Para que nos parezcan tan pequeñas y débiles, las distancias habían de ser tan grandes que la luz procedente de ellas habría tardado millones o incluso miles de millones de años en llegarnos. Ello indicaba que

el comienzo del universo no podía haberse producido hace tan sólo unos pocos miles de años.

Pero la segunda cosa que Hubble descubrió aún resultaba más sorprendente. Los astrónomos habían aprendido que, mediante el análisis de la luz de las otras galaxias, podemos averiguar si éstas se están acercando o alejando. Hallaron, estupefactos, que casi todas las galaxias se están alejando. Además, cuanto más lejos están, con mayor velocidad parecen estar alejándose. Fue Hubble quien se dio cuenta de las implicaciones espectaculares de este descubrimiento: a gran escala, todas las galaxias se están alejando de todas las demás galaxias. El universo se está expandiendo.

El descubrimiento de la expansión del universo fue una de las grandes revoluciones intelectuales del siglo XX. Constituyó una sorpresa radical y modificó completamente las discusiones sobre el origen del universo. Si las galaxias se están separando, debieron estar más juntas en el pasado. A partir de la tasa actual de expansión, podemos evaluar que, efectivamente, estuvieron muy próximas las unas a las otras hace unos diez o quince mil millones de años. Como dije en el capítulo anterior, Roger Penrose y yo conseguimos demostrar que la teoría general de la relatividad de Einstein implica que el universo debió comenzar en una tremenda explosión. Aquí estaba la explicación de porqué el cielo nocturno es oscuro: ninguna estrella podría haber estado brillando más de diez o quince mil millones de años, el tiempo transcurrido desde la gran explosión.

Estamos acostumbrados a la idea de que los acontecimientos están causados por acontecimientos anteriores, los cuales, a su vez, están provocados por acontecimientos aún más anteriores. Esta cadena de causalidad se estira hasta el pasado infinito. Pero supongamos que esta cadena tuvo un comienzo. Admitamos que hubo un primer acontecimiento. ¿Cuál fue su causa? No es ésta una pregunta que muchos científicos quisieran tratar, sino que intentaban evitarla, ya fuera pretendiendo, como los rusos, que el universo no había tenido comienzo, o manteniendo que el origen del universo no pertenece al dominio de la ciencia, sino a la metafísica o la religión. En mi opinión, esta posición no debería ser adoptada por los verdaderos científicos. Si las leyes de la ciencia se suspendieran en el comienzo del universo, ¿no podrían fallar también en otras ocasiones? Una ley no es una ley si

sólo se cumple a veces. Debemos intentar comprender el comienzo del universo a partir de bases científicas. Puede que sea una tarea más allá de nuestras capacidades, pero al menos deberíamos intentarlo.

Pese a que los teoremas que Penrose y yo habíamos demostrado indicaban que el universo debía haber tenido un comienzo, no suministraban mucha información sobre la naturaleza de dicho inicio. Indicaban que el universo comenzó en una gran explosión, un punto en que todo el universo, y todo lo que contiene, estaba apretujado en un solo punto de densidad infinita. En dicho punto, la teoría general de la relatividad de Einstein debería dejar de ser válida, por lo cual no puede ser utilizada para averiguar cómo empezó el universo. Aparentemente, el origen del universo queda más allá del alcance de la ciencia.

No es ésta una conclusión que deba alegrar a los científicos. Como indican los Capítulos 1 y 2, la razón por la cual la relatividad general deja de valer cerca de la gran explosión es que no incorpora el principio de incertidumbre, el elemento aleatorio de la teoría cuántica que Einstein había rechazado desde la idea de que Dios no juega a los dados. Sin embargo, todas las evidencias indican que Dios es un jugador impenitente. Podemos considerar el universo como un gran casino, en que los dados son lanzados a cada instante y las ruletas giran sin cesar. Podemos pensar que regentar un casino es un negocio muy arriesgado, porque nos exponemos a perder dinero cada vez que se lanzan los dados o la ruleta se pone a girar. Pero en un número grande de apuestas, las ganancias y las pérdidas dan como promedio un resultado que puede ser predicho, aunque no lo pueda ser el resultado de cada apuesta particular. Los propietarios de los casinos se aseguran de que la suerte se promedie a favor suyo. Por esto son tan ricos. La única posibilidad de ganarles es apostar contra ellos todo el dinero en unos pocos lanzamientos de dados o vueltas de la ruleta.

Lo mismo ocurre con el universo. Cuando éste es grande, como en la actualidad, hay un número muy elevado de lanzamientos de dados, y los resultados se promedian a algo que podemos predecir. Por esto las leyes clásicas funcionan en los sistemas grandes. Pero cuando el universo es muy pequeño, como lo era en los tiempos próximos a la gran explosión, sólo hay un pequeño número de lanzamientos de dados y el principio de incertidumbre resulta muy importante.

Corno el universo va lanzando los dados para ver qué pasará a continuación, no tiene una sola historia, como se podría esperar, sino que debe tener todas las historias posibles, cada una de ellas con su propia probabilidad. Debe haber una historia del universo en que Belice ganara todas las medallas de oro en los Juegos Olímpicos, aunque quizás la probabilidad de ello sea muy baja.

La idea de que el universo tiene múltiples historias puede sonar a ciencia ficción, pero actualmente es aceptada como un hecho científico. Fue formulada por Richard Feynman, que era un gran físico y todo un personaje.

Ahora trabajamos para combinar la teoría general de la relatividad de Einstein y la idea de Feynman de las historias múltiples en una teoría unificada que describa todo lo que ocurre en el universo. Tal teoría nos permitirá calcular cómo se desarrollará el universo si conocemos cómo empezaron las historias. Pero la teoría unificada no nos dice cómo empezó el universo ni cuál fue su estado inicial. Para ello, necesitamos lo que se llama condiciones de contorno, reglas que nos dicen qué ocurre en las fronteras del universo, los bordes del espacio y el tiempo.

Si la frontera del universo fuera un simple punto normal del espacio y el tiempo, podríamos atravesarlo y pretender que el territorio más allá de él también forma parte del universo. En cambio, si el contorno del universo fuera un borde muy irregular en que espacio y tiempo estuvieran apretujados y la densidad fuera infinita, resultaría muy difícil definir condiciones de contorno razonables.

Sin embargo, un colega llamado Jim Hartle y yo nos dimos cuenta de que hay una tercera posibilidad. Quizás el universo no tenga fronteras en el espacio ni en el tiempo. A primera vista, ello parece entrar en flagrante contradicción con los teoremas que Penrose y yo habíamos demostrado, que indicaban que el universo debe haber tenido un comienzo, es decir, una frontera en el tiempo. Pero, como expliqué en el Capítulo 2, hay otro tipo de tiempo, llamado tiempo imaginario, que es ortogonal al tiempo real ordinario que sentimos pasar. La historia del universo en el tiempo real determina su historia en el tiempo imaginario, y viceversa, pero los dos tipos de historia pueden ser muy diferentes. En particular, en el tiempo imaginario no es necesario que el universo haya tenido un comienzo. El tiempo imaginario se comporta como otra dirección espacial más. Así, las historias del universo en el tiempo imaginario pueden ser representadas como superficies

curvadas, como por ejemplo una pelota, un plano o una silla de montar, pero con cuatro dimensiones en lugar de dos.

Si las historias del universo se prolongaran hasta el infinito, como una silla de montar o un plano, se nos plantearía el problema de especificar cuáles son sus condiciones de contorno en el infinito. Pero podemos evitar tener que especificar ninguna condición de contorno si las historias del universo en tiempo imaginario son superficies cerradas, como la superficie de la Tierra. La superficie terrestre no tiene fronteras ni bordes. No hay noticias fiables de personas que hayan caído de la Tierra.

Si las historias del Universo en tiempo imaginario son efectivamente superficies cerradas, tal como Hartle y yo hemos propuesto, ello podría tener consecuencias fundamentales para la filosofía y para nuestra imagen de dónde venimos. El universo estaría completamente autocontenido; no necesitaría nada fuera de sí para darle cuerda y poner en marcha sus mecanismos, sino que, en él, todo estaría determinado por las leyes de la ciencia y por lanzamientos de dados dentro del universo. Puede parecer presuntuoso, pero es lo que yo y muchos otros científicos creemos.

Incluso si la condición de contorno del universo es la ausencia de contornos, el universo no tendría una sola historia, sino múltiples, como lo había sugerido Feynman. En tiempo imaginario, a cada posible superficie cerrada le correspondería una historia, y cada historia en el tiempo imaginario determinaría una historia en el tiempo real. Habría, pues, una superabundancia de posibilidades para el universo. ¿Qué selecciona, de entre todos los universos posibles, el universo particular en que vivimos? Podemos constatar que muchas de las posibles historias del universo no pasan por la secuencia de formar galaxias y estrellas, que resulta tan esencial para nuestro desarrollo. Aunque podría ser que se desarrollasen seres inteligentes incluso en ausencia de galaxias y estrellas, ello parece muy improbable. Así, el mismo hecho de que existamos como seres capaces de preguntarse «¿por qué el universo es como es?», ya constituye una restricción sobre la historia en que vivimos.

Esto implica que nuestro universo pertenece a la minoría de historias que contienen galaxias y estrellas, lo cual es un ejemplo de lo que se conoce como principio antrópico. Este principio afirma que el universo debe ser más o menos como lo

vemos, porque si fuera diferente, no existiría nadie para observarlo. A muchos científicos les desagrada el principio antrópico, porque tiene aspecto muy impreciso y parece carecer de poder predictivo. Pero es posible darle una formulación precisa, y parece resultar esencial en el análisis del origen del universo. La teoría M, descrita en el Capítulo 2, permite un número muy grande de posibles historias del universo. La mayoría de ellas no resultan adecuadas para el desarrollo de vida inteligente: o bien corresponden a universos vacíos, o duran demasiado poco tiempo, o están demasiado curvadas, o resultan insatisfactorias en un sentido u otro. Pese a ello, según la idea de Richard Feynman de múltiples historias, estas historias deshabitadas pueden tener una probabilidad considerablemente elevada.

De hecho, no nos importa realmente cuántas historias pueda haber que no contengan seres inteligentes. Sólo estamos interesados en el subconjunto de historias en que se desarrolle vida inteligente. Esta no tiene porqué ser parecida a los humanos: pequeños extraterrestres verdes servirían igualmente. La especie humana no brilla demasiado por su conducta inteligente.

Como ejemplo del poder del principio antrópico, consideremos el número de direcciones en el espacio. Es un hecho de experiencia común que vivimos en un espacio tridimensional. Es decir, podemos representar la posición de un punto en el espacio mediante tres números, por ejemplo latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar. Pero, ¿por qué el espacio es tridimensional? ¿Por qué no tiene dos dimensiones, o cuatro, o cualquier otro número, tal como en la ciencia ficción? En la teoría M, el espacio tiene nueve o diez dimensiones, pero se cree que seis o siete de ellas están enrolladas con radios de curvatura muy pequeños, y sólo quedan tres dimensiones grandes y relativamente planas.

¿Por qué no vivimos en una historia en que ocho de las dimensiones estén enrolladas en radios muy pequeños, y haya tan sólo dos dimensiones observables? A un animal bidimensional le resultaría muy difícil la digestión. Si lo atravesara un tubo digestivo, lo dividiría en dos y la pobre criatura caería en pedazos. Por lo tanto, dos dimensiones planas no bastan para algo tan complejo como la vida inteligente. Por otro lado, si hubiera cuatro o más dimensiones aproximadamente planas, la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos crecería más rápidamente cuando se aproximaran entre sí. Ello significaría que los planetas no tendrían órbitas estables

alrededor de sus soles: o bien caerían hacia el sol o bien se escaparían a la oscuridad y el frío exteriores.

Análogamente, tampoco serían estables las órbitas de los electrones en los átomos, de manera que no existiría la materia tal como la conocemos. Así pues, aunque la idea de múltiples historias admite en principio cualquier número de dimensiones relativamente planas, sólo las historias con tres de estas dimensiones podrán contener seres inteligentes. Sólo en tales historias será formulada la pregunta de «¿por qué el espacio tiene tres dimensiones?».

La historia más sencilla del universo en tiempo imaginario es una esfera lisa, como la superficie de la Tierra, pero con dos dimensiones más. Ésta determina en el tiempo real una historia del universo, en la cual éste es homogéneo y se expande con el tiempo. En estos aspectos, se comporta como el universo en que vivimos, pero su tasa de expansión es muy rápida, y cada vez se acelera más. La expansión acelerada se denomina inflación, porque se parece al crecimiento cada vez más rápido de los precios en algunas épocas.

Generalmente se considera que la inflación de los precios es indeseable, pero en el caso del universo la inflación resulta muy beneficiosa. La gran expansión suaviza las irregularidades que pueda haber habido en el universo primitivo. A medida que el universo se expande, toma prestada energía del campo gravitatorio para crear más materia. La energía positiva de la materia es cancelada exactamente por la energía negativa de la gravitación, de manera que la energía total es nula.

Cuando el tamaño del universo se duplica, las energías de la materia y de la gravitación se duplican, pero dos por cero sigue siendo cero. ¡Ojalá el mundo de las finanzas resultara tan sencillo!

Si la historia del universo en tiempo imaginario fuera una esfera perfectamente redonda, la historia correspondiente en tiempo real sería un universo que se seguiría expandiendo indefinidamente de manera inflacionaria. Mientras el universo se expande de forma inflacionaria, la materia no puede aglomerarse para formar galaxias y estrellas, y por lo tanto no se podría desarrollar vida, ni mucho menos vida inteligente tal como la conocemos. Así pues, aunque en el tiempo imaginario las historias del universo correspondientes a esferas perfectamente redondas son permitidas por la noción de múltiples historias, no resultan excesivamente

interesantes. En cambio, las historias en tiempo imaginario que son como esferas ligeramente aplanadas en el polo sur son mucho más relevantes.

En este caso, la historia correspondiente en tiempo real se expandiría al principio de manera acelerada, inflacionaria. Pero después la expansión comenzaría a frenarse, y se podrían formar galaxias. Para que se pudiera desarrollar vida inteligente, el aplanamiento en el polo Sur debería ser muy ligero. Ello significaría que inicialmente el universo se expandiría mucho. El nivel récord de inflación monetaria tuvo lugar en Alemania entre las guerras mundiales, cuando los precios subieron miles de millones de veces. Pero la magnitud de la inflación que debe haber habido en el universo es al menos mil billones de billones de veces esta cantidad.

Debido al principio de incertidumbre, no habría sólo una historia del universo que contuviera vida inteligente, sino que tales historias constituirían, en el tiempo imaginario, una familia completa de esferas ligeramente deformadas, cada una de las cuales correspondería ^{en} el tiempo real a una historia en que el universo se expande de manera inflacionaria durante un tiempo largo pero no indefinidamente. Nos podemos preguntar cuáles de estas historias permitidas son las más probables. Resulta que las más probables no son las historias completamente lisas, sino las que tienen ligeras protuberancias y depresiones. Las arrugas en las historias más probables son minúsculas: corresponden a perturbaciones de aproximadamente una parte en cien mil. Sin embargo, aunque son tan pequeñas, hemos conseguido observarlas como pequeñas variaciones en las microondas procedentes de diferentes direcciones del espacio. El satélite COBE (Cosmic Background Explorer), lanzado el 1989, consiguió cartografiar el contenido de microondas del firmamento. Los diferentes colores indican diferentes temperaturas, pero el intervalo total del rojo al azul corresponde tan sólo a una diezmilésima de grado. Aún así, esta variación entre las diferentes regiones del universo primitivo es suficiente para que la atracción gravitatoria adicional de las regiones más densas consiga detener su expansión y las haga colapsar de nuevo bajo su propia gravedad para formar galaxias y estrellas. Así pues, al menos en principio, el mapa del COBE es como el plano de todas las estructuras del universo.

¿Cuál será el comportamiento futuro de las historias más probables del universo compatibles con la aparición de seres inteligentes? Parece haber varias

posibilidades, según la cantidad de materia en el universo. Si ésta supera un cierto valor crítico, la atracción gravitatoria entre las galaxias las irá frenando hasta detenerlas. Entonces, empezarán a caer de nuevo las unas hacia las otras y chocarán con un gran crujido (*big crunch*) que será el fin de la historia del universo en tiempo real.

Si la densidad del universo es inferior al valor crítico, la gravedad es demasiado débil para detener la separación de las galaxias. Todas las estrellas se consumirán, y el universo será cada vez más frío y vacío. Así, de nuevo, todo llegará a un final, pero de una manera menos espectacular. De cualquier modo, el universo tiene aún unos cuantos miles de millones de años por delante.

Además de la materia, el universo puede contener lo que se llama «energía del vacío», energía que está presente incluso en un espacio aparentemente vacío. Según la famosa ecuación de Einstein, $E = mc^2$, esta energía de vacío tiene masa. Ello significa que ejerce un efecto gravitatorio sobre la expansión del universo. Pero, curiosamente, el efecto de la energía del vacío es opuesto al de la materia. Esta hace que la expansión se vaya frenando y puede llegar a detenerla e invertirla. En cambio, la energía del vacío hace que la expansión se acelere, como ocurre en la inflación. De hecho, la energía del vacío actúa como la constante cosmológica mencionada en el Capítulo 1, que Einstein añadió a sus ecuaciones originales en 1917, cuando cayó en la cuenta de que no admitían ninguna solución que representara un universo estático. Tras el descubrimiento de Hubble de la expansión del universo, esta motivación para añadir un término a las ecuaciones desapareció, y Einstein abjuró de la constante cosmológica como si hubiera sido un gran error.

Sin embargo, podría no haberse tratado de un error. Como dijimos en el capítulo 2, sabemos ahora que la teoría cuántica implica que el espacio-tiempo está lleno de fluctuaciones cuánticas. En una teoría supersimétrica, las energías infinitas positiva y negativa de las fluctuaciones del estado fundamental de las partículas de espines diferentes se cancelan pero, como el universo no se halla en un estado supersimétrico, no cabe esperar que dichas energías se cancelen tan exactamente que no quede una pequeña cantidad, finita, de energía del vacío. Lo sorprendente es que la energía del vacío sea tan próxima a cero, que no la detectamos hasta

hace unos pocos años. Esto podría ser otro ejemplo del principio antrópico: en una historia con una mayor energía del vacío no se habrían formado galaxias, de manera que no contendría seres que pudieran formularse la pregunta de «¿por qué es tan baja la energía del vacío?».

Podemos intentar determinar las cantidades de energía de la materia y del vacío en el universo a partir de diversas observaciones. Si representamos los resultados en un diagrama con la densidad de la materia en el eje horizontal y la energía del vacío en el eje vertical, la línea de puntos indica la frontera de la región en que se podría desarrollar vida inteligente.

Observaciones de supernovas, cúmulos y el fondo de microondas eliminan regiones de este diagrama. Afortunadamente, estas tres regiones tienen una intersección común. Si la densidad de materia y la energía del vacío se hallan en ella, significa que la expansión del universo se ha empezado a acelerar de nuevo, tras un largo período de frenado. Parece que la inflación podría ser una ley de la naturaleza.

En este capítulo hemos visto cómo el comportamiento de la inmensidad del universo puede ser comprendido a partir de su historia en el tiempo imaginario, que es una esfera diminuta y ligeramente aplanada. Es como la nuez de Hamlet, pero esta nuez codifica todo lo que ocurre en el tiempo real. Así pues, Hamlet tenía razón: podríamos estar encerrados en una cascara de nuez y sentirnos, aún así, reyes de un espacio infinito.